

АНАЛИЗ НА ПРИЧИНИТЕ ЗА ВЪЗНИКВАНЕ НА ВЪЗПЛАМЕНЯВАНЕ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИ АВТОМОБИЛИ

Илко Търпов
itarpov@vtu.bg

Николай Григоров
grigorov.nikolay@abv.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
гр. София, ул. „Гео Милев” 158
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: *Градски транспорт, електробуси, зарядни станции, възпламеняване, пожарна безопасност*

Резюме: *Броят на електрическите автобуси постоянно се увеличават за сметка на конвенционалните използващи дизелово гориво и към днешна дата тяхната бройка надхвърля 400 автобуса общо за страната като техния брой ще продължи да се увеличава с отпускането на средства по оперативни програми на Европейския съюз. Въпреки очевидните им предимства за намаляване на емисиите на CO₂ съществуват предизвикателства, които трябва да бъдат решени от инженерна гледна точка, свързани с пожарната безопасност. Те касаят преди всичко акумулаторните батерии и сложните химични и топлинни процеси, които протичат в тях.*

Възпламеняване в електрически автобус може да възникне докато се движи, зарежда или е паркиран. Съществува риск от възникване на пожар в автобусни депа, където потенциалът за разпространение на пожар между съседно паркирани превозни средства е голям.

В доклада е представена обща статистика за пожарни инциденти с електрически автомобили. Разгледани са неизправностите довели до възпламеняване на автономни електрически транспортни средства. Направен е анализ на различните неизправности, причини и вид на повредите за възникване на възпламеняване, като събраните статистически данни са представени в табличен вид и систематизирани в блок-схема на причините за възникване на пожар в автономни електрически транспортни средства.

УВОД

Въпросите свързани с пожарната безопасност на автономните електрически превозни средства (АЕТС) не е стоял с такава острота, както в момента, поради малката енергийна плътност на акумулаторни батерии (АБ) в началото на нейното създаване и разбира се вида на вложените материали в тях.

В днешно време риска от samozапалване на АБ и внедряването на все по-големи мощности в АЕТС, допринасят за развитие на технологиите свързани с пожарната безопасност и подобряване на експлоатационната им надеждност.

При възпламеняване на литиево-йонна батерия се наблюдават отличителни характеристики, като интензивно отделяне на топлина, наричано още термично изтичане. Това показва, че възпламеняването в тези транспортни средства представлява различен риск в сравнение с конвенционалните.

Наличието на производствени дефекти, като лошо проектирани компоненти, дефектно окабеляване или некачествен монтаж могат да увеличат риска от възпламеняване на някой елемент от системата. Редовните проверки за контрол на качеството и спазването на индустриалните стандарти са от съществено значение за подобряване на надеждността на АЕТС в етапите на проектиране, производство и експлоатация.

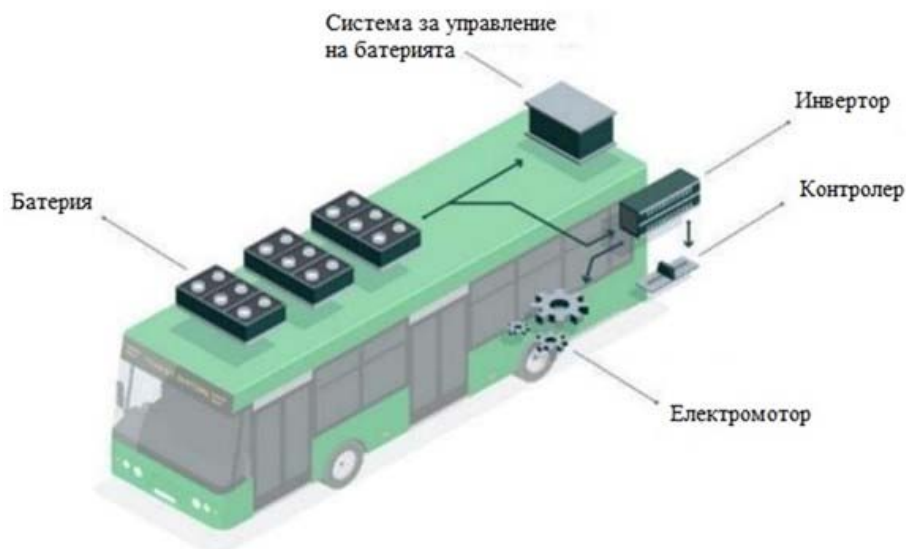
1. СТАТИСТИЧЕСКИ ДАННИ ЗА ПОЖАРНИ ИНЦИДЕНТИ С ЕЛЕКТРИЧЕСКИ АВТОМОБИЛИ

По данни на бюрото за „Нови безопасни и продуктивни решения“ (Honeywell Safety and Productivity Solutions) във Великобритания за периода от юли 2022 г. до юни 2023 г. са регистрирани 239 пожара, а през 2019 г. по данни на пожарната служба на Бедфордшир, около 1898 пожара са възникнали в автомобили с ДВГ, а 54 – от електромобили, което представлява едва 2,76 % от общият брой пожари в автомобили.

Според [3, 4] в проучване на Шведската агенция за граждански извънредни ситуации е установено, че вероятността от запалване на електромобили е 20 пъти по-малка от тази на автомобилите с ДВГ. Допълнително проучване на същата агенция и американски застраховател установява, че само 0,025 % от всички електрически автомобили претърпяват щети от пожар. За сравнение процента при автомобили с ДВГ претърпяващи някаква форма на пожар е 1,53 %, а при хибридните превозни средства той е много по-висок – 3,47 %.

При пълно зареждане една клетка съдържа 4,2 V заряд, но дори когато е празна, тя все още съдържа 2,5 V. Това налага всички места, на които се намират електрически превозни средства, да се разглеждат като рискови спрямо пожарната безопасност и да се вземат превантивни мерки. Такива опасни места могат да бъдат: паркинги, тунели, фериботи, товарни кораби, самолети и др. превозващи електрически превозни средства или литиево-йонни батерии.

Също така при възникване на пожар в ЕТС е важно да се знае разположение на основните компоненти и агрегати. На фигура 1 е показано примерно разположение на основните компоненти за тягово задвижване на електрически автобус включващо: батерия, система за управление на батерията, инвертор, контролер, електромотор и друго свързано със спомагателните вериги за управление и собствените нужди, като компресор, отопление и вентилация.



Фиг. 1. Примерно разположение на основните компоненти за тягово задвижване на електрически автобус

2. НЕИЗПРАВНОСТИ ДОВЕЛИ ДО ВЪЗПЛАМЕНЯВАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ АВТОБУСИ

През септември 2016 г. в САЩ, по време на движение се възпламенява електрически автобус. Причина за инцидента е неправилно нагънат проводник на покрива на автобуса, което довежда до дефект в електрическата връзка, която започна да нагрява близките батерийни клетки. Конструктивно е предвидено системата за управление да изключи засегнатата батерия, но в този случай функцията за следене на температурата не сработва. Благодарение на това батерията продължава да загорява, докато се възпламени. Разследването стига до заключение, че този електрически автобус има конструктивен недостатък. След инцидента в този модел включват паралелен резерв на температурни сензори за контрол на състоянието на батерията.

Друга причина за възпламеняване, докато електрическият автобус е паркиран, може да бъде свързана с екстремни климатични условия, например ниски/високи температури или висока влажност. Също така може да се появи вътрешен клетъчен отказ на батерията вследствие на презареждане, претоварване, конструктивен дефект или др.

На 14 декември 2015 г. в Хонконг, Китай чисто нов електрически автобус е унищожен. Този електрически автобус е бил преминал пътен тест и бил готов за включване в експлоатация. Първоначално е съобщено, че от паркинга, където се намира новият електрически автобус, излиза гъст черен дим. При разследването на инцидента се установява, че преди да се възпламени автобуса е имало проблем с водното уплътнение на корпусите на батерията. Последващото просмукване на вода през компрометирания корпус на батерията в крайна сметка довела до късо съединение и самозапалване.

Възпламеняване на електрическият автобус докато се зарежда. Тази повреда може да е свързана с повреда на батерията поради презареждане, но по-често е свързана с дефектни станции за зареждане. Това е и основната причина за инциденти с възпламеняване на литиево-йонни батерии, при които е установено, че липсва качествено управление на батерията. През 2021 г. в Щутгарт, Германия 25 електрически автобуса се възпламеняват в депо. Произшествието се е случило когато автобусите са се зареждали.

Множество инциденти са свързани с катастрофи на електрически автобус. Механичните увреждания върху батерията в следствие на удара допринасят за нейното запалване по време или непосредствено след катастрофата.

След направено проучване за инцидентите свързани с електрическите автобуси резултатите са обобщени и представени по хронологичен ред в таблица 1. От таблицата се вижда, че при пожари в местата за престой на електрическите превозни средства (депа, гаражи или други), щетите са огромни. Там имаме струпване на голям брой превозни средства, което допринася за увеличаване на горимото натоварване и при възникване на пожар е трудно неговото овладяване.

Таблица 1. Хронология на пожарни инциденти свързани с електрическа автобуси

Дата	Местоположение	Вид на инцидента	Място
11.11.2022 г.	Филадельфия, САЩ	Възпламеняване на батерии в електрически автобус	Депо
23.07.2022 г.	Кънектикът, САЩ	Възпламеняване на електрически автобус	Депо
22.05.2022 г.	Лондон, Великобритания	Редица електрически автобуса се запалват	Депо
29.04.2022 г.	Париж, Франция	Възпламеняване на електрически автобус	По време на движение
04.04.2022 г.	Париж, Франция	Възпламеняване на електрически автобус	По време на движение
11.10.2021 г.	Щутгард, Германия	25 унищожени електрически автобуса при огромен пожар	Депо
05.10.2021 г.	Рим, Италия	30 унищожени електрически автобуса при масов пожар	Автогара
20.07.2021 г.	Рим, Италия	3 унищожени електрически автобуса при пожар	Автогара
19.06.2021 г.	Рим, Италия	Избухнал пожар в задната част на електрически автобус	По време на движение
05.06.2021 г.	ХанOVER, Германия	Възпламеняване на електрически автобус	Депо
16.05.2021 г.	Гуанси, Китай	Възпламеняване на електрически автобус	Депо
15.02.2021 г.	Южна, Корея	Възпламеняване на електрически автобус	Завода производител
16.09.2016 г.	САЩ	Възпламеняване в силовото проводници на автобус	По време на движение
14.12.2015 г.	Хонконг, Китай	Възпламеняване на електрически автобус след първи тест	Депо

От изброените произшествия се вижда, че повечето аварии възникнали в електрическите автобуси са свързани с литиево-йонната батерия, което предопределя въвеждането на строг контрол и проследяване на нейното състояние във всички режими на работа, зареждане и престой.

Направеният анализ на различните неизправности, причини и вид на повредите за възникване на възпламеняване и последващ пожар в автономни електрически транспортни средства е систематизиран в блок-схема на фигура 2.

При късо съединение, според [1], вътре в батерията напрежението и импедансът се променят значително, вътрешните материали на батерията реагират екзотермично, генерирайки много топлина и температурата на батерията се повишава бързо. Започват да се отделят газове, като въглероден диоксид, водород, кобалт, метан и др. При отделянето на тези газове батерията се разширява и деформира. Когато вътрешното налягане надвиши налягането, което предпазният клапан може да издържи, предпазният клапан се задейства за да освободи вътрешния газ в атмосферата и да предотврати експлозия на батерията. Впоследствие се изхвърлят голям обем запалими, експлозивни и токсични газове, придружени от някои активни вещества и електролитни пари. Този процес се нарича термично изтичане на литиево-йонна батерия.

Първо се изхвърлят голям брой искри, последвани от струен огън, придружен от твърди частици. След това пламъкът постепенно се превръща в стабилно горене и продължава да отслабва. Накрая горивните вещества изгарят и пламъкът изгасва. [2]



Фиг. 2. Блок-схема на причините за възникване на пожар в автономни електрически транспортни средства

ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

След направеното проучване на статистическите данни за възникване на пожар в АЕТС и разглеждане на неизправностите довели до възпламеняване на транспортните средства могат да се направят следните изводи и заключения:

- За да се осигури качествен контрол на електрически автобус трябва да се следват стриктно, правилата за контрол наложени от производителя.
- Да се спазват графици за профилактика и техническо обслужване;
- Да се подменят своевременно дефектни части и агрегати от електрическото оборудване;
- Поддържане в изправност на противопожарното оборудване и спазване на противопожарните изисквания.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Лунд, Потискане на Li-ион, Пожари на батерията. Инженеринг по пожарна безопасност Швеция, Университет Лунд, Доклад 5690, 2023;
- [2] Наредба № Из-1971 от 29 октомври 2009 г. за строително-технически правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар, Министерство на вътрешните работи и Министерства на регионалното развитие и благоустройството;
- [3] <https://money.bg/travel/hronologiya-na-elektricheskite-prevozni-sredstva-ot-19-ti-vek.html>
- [4] https://www.kaldata.com/автомобили/какъв-е-рискът-от-пожар-при-електричес-480933.html?fbclid=IwY2xjawCudWVleHRuA2FlbQIxMQABHUrGLRr_wqWLEpOttiAY2pBaLCh8kaF2aaYjC7Nrzn2tkLY1MHR_Hhlscg_aem_AV9kDMASDcFcUCtlJDjmXue-Jz5gcNIaaC5df-ldm9SaYvFdQdDKe9snow4tWVdBNVii-jFM8hgz5OjGsnR5o5G0

ANALYSIS OF THE CAUSES OF IGNITION IN ELECTRIC VEHICLES

Ilko Tarpov
itarpov@vtu.bg

Nikolay Grigorov
grigorov.nikolay@abv.bg

***Todor Kableshkov University of Transport,
1574 Sofia, 158 Geo Milev Str.,
THE REPUBLIC BULGARIA***

Key words: urban transport, electric buses, charging stations, ignition, fire safety

Abstract: The number of electric buses is steadily increasing at the expense of conventional diesel buses and to date their number exceeds 400 buses in total for Bulgaria and their number will continue to increase with the allocation of funds under EU operational programmers. Despite their obvious advantages in reducing CO₂ emissions, there are challenges to be addressed from an engineering point of view relating to fire safety. These relate primarily to rechargeable batteries and the complex chemical and thermal processes that take place within them.

Ignition in an electric bus can occur while it is moving, charging or parked. There is a risk of fire in bus depots where the potential for fire spread between nearby parked vehicles is high.

This report presents general statistics on fire incidents involving electric vehicles. Faults leading to ignition of autonomous electric vehicles are discussed. An analysis of the different faults, causes and type of faults for ignition occurrence is conducted, and the collected statistics are presented in tabular form and systematized in a flowchart of the causes of fire occurrence in autonomous electric vehicles.